



## **Sedimentausleitung aus dem Speicher Gübsensee über die Triebwasserleitung**

G. De Cesare, R. Baumann, R. Zuglian, F. Binder

### **1 Einleitung**

Die Verlandung des Gübsensees ist schon seit längerer Zeit ein Thema, mit dem sich der Betrieb des Kraftwerks Kubel der St. Gallisch-Appenzellischen Kraftwerke AG (SAK) intensiv auseinander gesetzt hat. Von den ursprünglich rund 1.5 Mio. m<sup>3</sup> Nutzvolumen sind heute noch 1.1 Mio. m<sup>3</sup> vorhanden. Über 300'000 m<sup>3</sup> Sedimente konnten sich im Laufe der Zeit im See ablagern. Der Betreiber führte seit längerem alle 10 Jahre eine bathymetrische Aufnahme des Gübsensees durch. Die letzte Folgemessung stand Anfangs 2007 an. Dabei stellte sich heraus, dass innerhalb der letzten 10 Jahre knapp 100'000 m<sup>3</sup> Material zusätzlich im Gübsensee abgelagert wurden. Pro Jahr wird also im Schnitt 10'000 m<sup>3</sup> Material im See deponiert. Dass der See heute nicht schon gänzlich verlandet ist, kann auf den Umstand zurückzuführen sein, dass in den ersten Betriebsjahren regelmässige Spülungen durchgeführt wurden. Die letzte dokumentierte Spülung des Gübsensees erfolgte in den 70-er Jahren. Seither wurden Entleerungen vermieden, da Umweltaspekte immer mehr in den Vordergrund traten.

Aus Sicht des Betriebes sollen mindestens 100'000 m<sup>3</sup> Material aus dem Gübsensee entfernt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, sind verschiedene Massnahmen denkbar. Der vorliegende Bericht beschreibt eine im Herbst 2007 durchgeführte Testbaggerung im Gübsensee. Dabei wurden mit einem Saugbagger Sedimente aus dem Grundablassbereich bis vor die Fassung gefördert und dem Triebwasser direkt beigegeben. Während dem gesamten Versuch wurden periodische Trübstoffmessungen im Unterwasser bzw. im Vorfluter, der Sitter genommen und diese ausgewertet. Der Versuch zeigte, dass es durchaus ein gangbarer Weg wäre, die gewünschte Menge Sedimente mit Saugbaggern aus dem Gübsensee zu fördern und direkt zu turbinieren. Aufgrund der kantonalen Grenzwerte für den maximalen Schwebstoffeintrag in die Sitter würde die Ausbaggerung mehrere Jahre dauern.

## 2 Beschreibung der Anlage

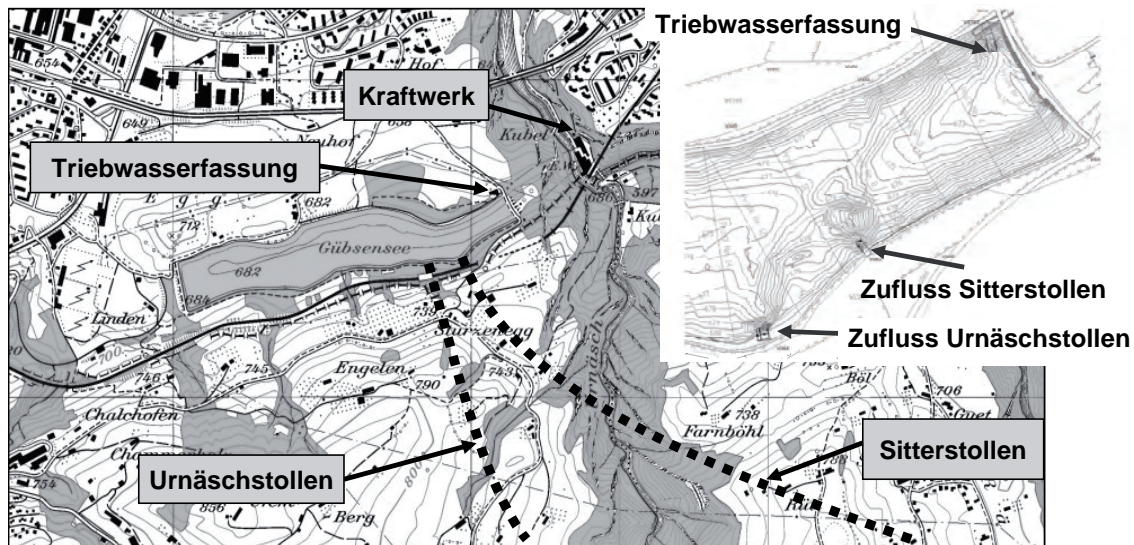


Abb. 1: Situation Kraftwerk Kubel mit Zuleitungen und Gübsensee.

Das Kraftwerk Kubel bei St.Gallen, 1900 in Betrieb gesetzt, nutzt die Wasserkraft der Urnäsch und Sitter mit einem Bruttogefälle von 97 m und einer Ausbaumwassermenge von 18 m<sup>3</sup>/s aus, indem sie diese beiden Flüsse fasst und das Wasser in den Gübsensee oberhalb dem Kraftwerk einleitet. Sowohl Urnäsch wie auch die Sitter entspringen im Säntisgebiet. Feste Wehre stauen die zwei Flüsse und durch einen seitlichen Einlauf wird die konzessionierte Wassermenge gefasst. Beide Fassungen haben einen Kiesfang aber keinen ausgeprägten Sandfang. Der Einlaufbereich beider Fassungen wird im Hochwasserfall oder während Unterhaltsarbeiten direkt wieder ausgeleitet. Dadurch erfolgt auch eine periodische Spülung des Fassungsbereichs. Der grösste Teil der in den Stollen eingetragenen Feststoffe wird schliesslich über kürzer oder länger bis in den Gübsensee transportiert und dort deponiert. Die Ablagerung findet hauptsächlich im Bereich zwischen den Stollenmündungen und der Fassung statt.

Der Gübsensee hat grundsätzlich keine natürlichen Zuflüsse und lediglich ein sehr beschränktes direktes Einzugsgebiet. Er kann durch folgende Stichwörter charakterisiert werden:

Seeoberfläche:		0.17 km <sup>2</sup>
Stauvolumen:	ursprünglich	1.47 Mio. m <sup>3</sup>
	heutiges ca.	1.1 Mio. m <sup>3</sup>
	genutztes Volumen	ca. 200'000 m <sup>3</sup>
Verlandung:		über 300'000 m <sup>3</sup>

Stauziel:		682.28 m ü.M.
Max Betriebsabsenkung:		680.88 m ü.M.
Einzugsgebiet:	direktes	0.68 km <sup>2</sup>
	Urnäsch bei Wehr	77 km <sup>2</sup>
	Sitter bei Wehr	160 km <sup>2</sup>

### 3 Zustand der Verlandung

Abb. 2 zeigt einen Längsschnitt durch den Gübsensee. Links im Bild ist der westliche Abschluss, ein Erddamm, dargestellt. Der östliche Abschluss stellt die Gübsenstaumauer dar. Die Fassung für das Kraftwerk Kubel ist nahe dieser Mauer. In der Abb. 2 sind die Stollenmündungen des Urnäsch- und des Sitterstollens beschrieben. Die Mächtigkeit der abgelagerten Sedimente ist denn auch in diesen Bereichen am grössten.

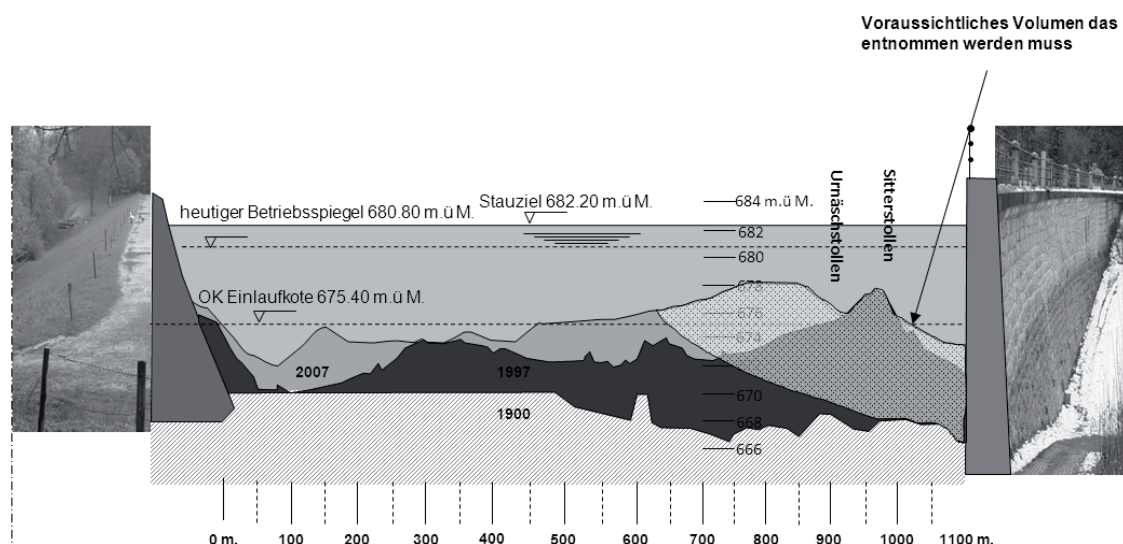


Abb. 2: Schematischer Längsschnitt durch Gübsensee mit Darstellung der zeitlich versetzt eingetragenen Verlandungen.

Im 1976 wurden anlässlich allgemeiner Erneuerungsarbeiten des Kraftwerks Kubel Ablagerungen aus dem östlichen, fassungsnahe Bereich innerhalb des Sees umgelagert und im Bereich des Westdammes deponiert. Dies erklärt die in Abb. 2 zu erkennende Zunahme der Sedimente gegen den Erddamm hin. In der Abb. 2 ist gestrichelt die maximale Absenkkote eingezeichnet. Bis 1997 stellten die Ablagerungen demzufolge noch kein wesentliches betriebliches Problem dar. Nur 10 Jahre später präsentiert sich das Bild allerdings schon wesentlich ungünstiger. Die eingetragenen Schwebstoffe setzten sich vor allem im östlichen, dem Einlauf nahen Bereich des Speicherbeckens ab und reduzierten in grösserem Ausmass das Nutzvolumen.

Anlässlich einer an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) durchgeführten Studie zum Verlandungsmechanismus des Gübsensee (De Cesare et al., 2006) wurde auch der Schwebstoffeintrag der einzelnen Zuflüsse untersucht. Dazu wurden sowohl beim Einlauf in die Stollen als auch beim Zulauf in den See Sedimentproben entnommen und im Labor deren Korngrössenverteilung untersucht. Wie das Diagramm in Abb. 3 zeigt, haben einzelne Partikel, welche bis zum See gelangen, einen maximalen Durchmesser von ca. 2 mm. 90% aller Sedimente weisen allerdings einen Durchmesser kleiner als ca. 0.4 mm aus. Das bedeutet, dass gemäss diesen zwei Proben über 90% der Ablagerungen aus Silt und Tonen bestehen. Über die Härte des Materials liegen keine Angaben vor. Kommt man zum Schluss, dass man die rund 100'000 m<sup>3</sup> Ablagerungen, die man entfernen will, turbinieren wird, so sind allenfalls genauere Abklärungen noch nötig.

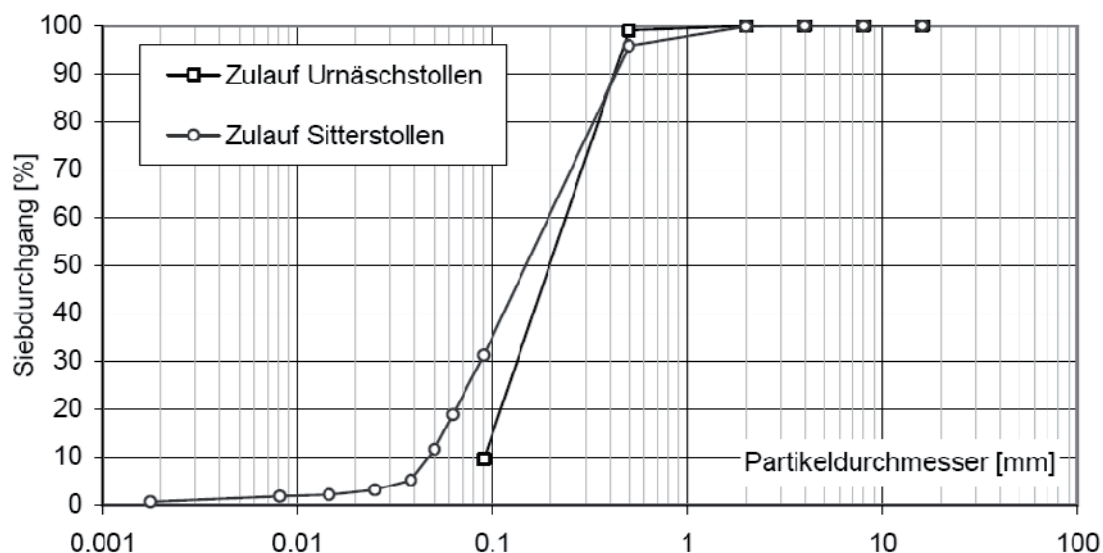


Abb. 3: Korngrössenverteilung der Sedimente bei den Zulaufstollen im Gübsensee.

## 4 Sedimentausleitung über die Triebwasserleitung

Im Spätsommer 2007 wurde eine zweiwöchige Testbaggerung mit einem Saugbagger im Gübsensee durchgeführt. Der Saugbagger erlaubt es, bis maximal 40 m<sup>3</sup> Sedimente, welche aus Sand und Ton bestehen, pro Stunde zu fördern, dies aus einer maximalen Wassertiefe von 110 m. Ein Jetring löst die Sedimente und die Pumpe fördert das gelöste Material im Verhältnis 90% Wasser und 10% Feststoffe über die schwimmende Transportleitung (DN 200) bis dorthin, wo man die Ablagerungen entsorgen will. Sollte die Korngrössenverteilung der zu entfernenden Sedimente eine direkte Einleitung in die Wasser-



fassung nicht erlauben, so kann an Land eine Separierungsanlage zwischen-  
geschaltet werden, welche sämtliche Komponenten  $> 0.2 \text{ mm}$  entfernt.

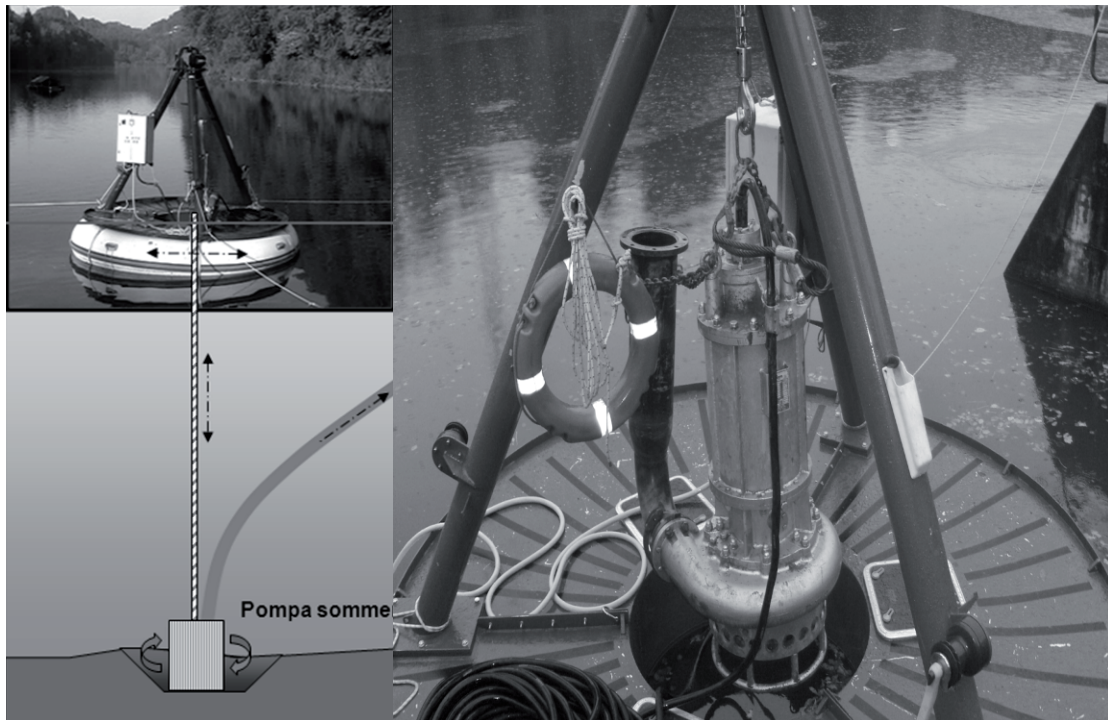


Abb. 4: Aufnahme des anlässlich der Testbaggerung eingesetzten Saugbaggers SMART LIGHT auf dem Gübsensee.

Für den Test wurde die auf Abb. 4 gezeigte Installation eingesetzt. Von einem unbemannten Ponton aus, welcher vom Ufer durch Seile geführt und gehalten ist, wird eine elektrisch betriebene Pumpe mit einem Kettenzug ins Wasser gelassen und bis zum Seegrund abgesenkt. Das geförderte Material wurde bis direkt vor die Fassung des Kraftwerks Kubel transportiert und dem Triebwasser beigegeben (Abb. 5).

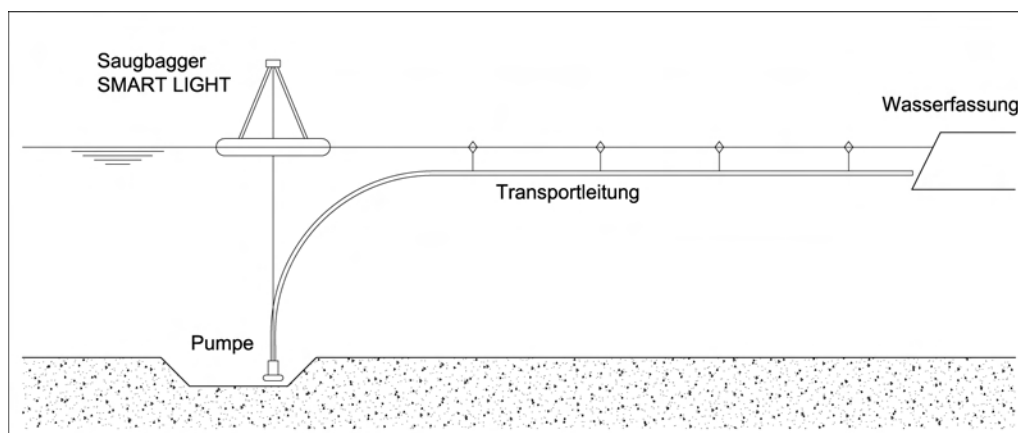


Abb. 5: Schema der eingesetzten Geräte zur Sedimentaustrag und Transport bis zur Triebwasserfassung.



Abb. 6: Das vor den Einlauf gepumpte Wasser-Sedimentgemisch anlässlich der Testbaggerung (links) und Personal der SAK bei der Entnahme einer Wasserprobe in der Sitter, rund 300 m unterhalb des Eintritts des Unterwassers in den Fluss (rechts).

In der Sitter wurden rund 300 m unterhalb der Wasserrückgabe während der Baggerung stündlich Schwebstoffmessungen mit dem Imhofftrichter durchgeführt (Abb. 6). Die Meinungen über dessen Tauglichkeit gehen weit auseinander, allerdings ist er für den Testbetrieb ein einfach zu verwendendes Messgerät, welches sicherlich entsprechende Anhaltspunkte liefert. Während der gesamten Dauer wurden nur minimalste Schwebstoffkonzentrationswerte gemessen (Abb. 7). Hierbei sollte die Entnahmemethode, resp. die Trübungsmessung noch genauer untersucht werden, um ein repräsentatives Resultat zu erreichen.

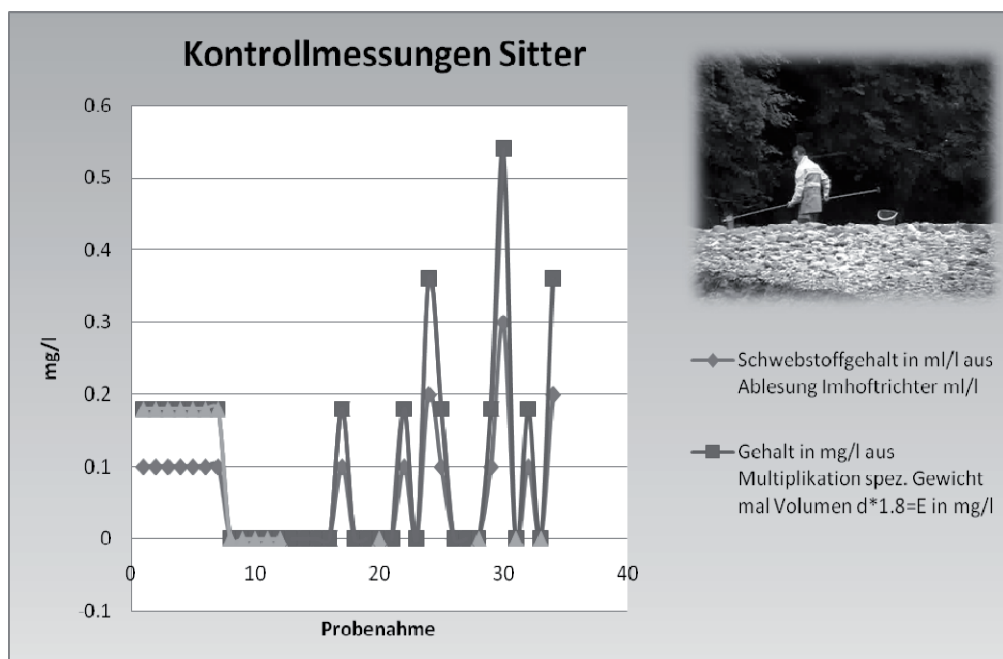


Abb. 7: Gemessene Schwebstoffkonzentrationen während dem Testversuch.

Gemäss den festgehaltenen Werten wurden innerhalb der rund 10 Tage Betrieb knapp 20 m<sup>3</sup> Material ausgetragen, allerdings wird die effektive Leistung auf rund 50 m<sup>3</sup> geschätzt. Dies aus folgenden Gründen:

- Das ausgebaggerte Material wurde nicht direkt in die Fassung gepumpt, sondern in den Fassungsbereich, somit konnte vor Ort visuell geprüft werden, ob überhaupt und was für Material gefördert wird.
- Für den Test wurde eine relativ einfache Installation gewählt. Die Pumpe ist an einem Kettenzug aufgehängt. Ein Führen derselben war folglich nur über das Verstellen des Pontons möglich, was den Aktionsradius und die Präzision natürlich entsprechend einschränkt.
- Verschiedene weitere Tests, wie Aufnahmen und Kontrollen mit Robotern unter Wasser, erfolgten während derselben Zeit mit demselben Personal, so dass effektiv nicht 10 Tage, sondern lediglich 3 bis 4 Tage für die Saugbaggerung zur Verfügung stand.

## **5 Einfluss auf Maschinen**

Nach dem Durchführen der Testbaggerung fanden keine Kontrollen des Triebwasserweges und der Turbinen statt. Allerdings kann ganz klar festgehalten werden, dass durch die geringe Mehrbelastung (schliesslich wurden lediglich zwischen 20 bis 50 m<sup>3</sup> Schwebstoffe in geringer Konzentration turbinert) keine spür- und messbaren Abnutzungserscheinungen eintraten. Das würde natürlich nach dem Turbinieren von 100'000 m<sup>3</sup> nicht unbedingt gleich aussehen. Wie bereits einleitend festgehalten, sollten in einem allfälligen weiteren Schritt dazu Aussagen über die Härte der abzubauenen Sedimente (und die Abrasionsfestigkeit der Turbinen) anhand von Versuchen gemacht werden.

## **6 Potential des Sedimentaustrags über die Triebwasserleitung**

Die behördliche Bedingung, dass die Sitter um maximal 200 mg/l mit Material dotiert werden kann, führt zu einem theoretisch maximalen Schwebstoffeintrag bei voller Turbinenleistung von 18 m<sup>3</sup>/s und von einem übers Jahr mittleren Abfluss von 10 m<sup>3</sup>/s von 5.6 kg/s. Die zulässige Schwebstoffmenge, die dem Triebwasser des Kraftwerks Kubel beigegeben werden kann, hängt also proportional von der verarbeiteten Wassermenge ab. Wie aus den Daten der Anlage hervor geht, wird im jährlichen Durchschnitt 142'560'000 m<sup>3</sup> Wasser zu insgesamt 33 GWh elektrischer Energie verarbeitet. Im Tag resultiert daraus ein theoretisches Mittel von 390'575 m<sup>3</sup> verbrauchtem Wasser. Da pro 18 m<sup>3</sup>/s rund 5.6 kg/s Material in den Triebwasserweg zusätzlich eingeleitet werden dürfen,

ergibt sich eine mittlere theoretische Baggerleistung von 120 m<sup>3</sup> pro Tag. Um die vom Betrieb geforderte Ausbaggerung von 100'000 m<sup>3</sup> Sedimenten zu erreichen, sind rund 833 Tage oder 2.2 Jahre zu pumpen. Während dieser Zeit werden weitere 20'000 m<sup>3</sup> Sedimente in den Gübsensee eingetragen.

Die Variante, die Ablagerungen im östlichen Bereich des Gübsensees mit Saugbaggern zu fördern und dosiert über den Triebwasserweg abzutransportieren, stellt eine mögliche Lösung des Problems dar. Angesichts der notwendigen langen Betriebsdauer und der Tatsache, dass über die Wintermonate nicht gebaggert werden darf (gemäss AFU Amt für Umwelt und Energie des Kantons St. Gallen), scheint diese Lösung nicht sehr praktisch zu werden. Bedenkt man zudem die Aufwendungen über die gesamte Betriebsdauer, welche für das Monitoring der Schwebstoffkonzentrationen in der Sitter nötig werden, so dürfte die Lösung auch ökonomisch an Interesse verlieren. Hierbei sollte die Benützung eines vollautomatischen Trübungsmesssystem, wie es auf dem Markt vorhanden ist, geprüft werden. Zudem sollte als Referenzmessung ebenfalls oberhalb der Einleitung in die Sitter die natürliche Trübung gemessen werden.

## **7 Zusammenfassung**

Die Beeinträchtigung des Betriebes sowie der Volumenverlust durch Sedimentablagerungen gehören zu den Hauptproblemen in Wasserkraftwerken mit Speichern. Beim Tagesspeicher Gübsensee im Kanton St. Gallen in der Ostschweiz gingen in über 100 Jahren Betrieb im betrieblich wichtigen Ost-Teil des Sees über 50% des Volumens verloren. Als Massnahme zur Beseitigung störender Ablagerungen wurden im Herbst 2007 Versuche durchgeführt, wobei mit einem Saugbagger Sedimente aus dem Grundablassbereich bis vor die Triebwasserfassung gefördert und durch die Turbinen ins Unterwasser geleitet wurden.

Die durchgeführten Versuche zeigten, dass es sehr wohl eine Möglichkeit darstellt, Sedimente durch den Triebwasserweg aus einem Speicherbecken zu spülen. Durch die relativ lange notwendige grob geschätzte Betriebsdauer, um die gewünschte Sedimentmenge abzuführen, mit gleichzeitiger neuer Sedimentzufuhr, erscheint diese Lösung als nicht unbedingt geeignet. Doch ist hierbei der Aufwand mit einem eventuellen Verlust der Anlage selbst durch Verlandung des Speichers und ebenfalls mit der schon über hundert jährigen Betriebsgeschichte aufzuwiegen. Auch sollte die Abschätzung der notwendigen Betriebsdauer aufgrund von Abflusssdauerlinien gemacht werden, da sicherlich bei grösseren natürlichen Abflüssen im Vorfluter wesentlich mehr Feststoffe ausgeführt werden könnten. Dabei dürften die Einwirkungen auf die Umwelt ab-



schätzbar und dank speziellen Massnahmen auch tragbar zu sein. Mögliche negative Einwirkungen auf die elektromechanischen Einrichtungen und die Druckleitung können anhand des Versuches nicht erkannt werden. Dazu sind allenfalls weitere Untersuchungen der zu fördernden Sedimente erforderlich.

Auch sollten bei der Abwägung der Machbarkeit der Entlandung durch das Triebwasser andere Massnahmen wie Ausbaggern, Abtransport per Camion oder Eisenbahn und Deponie behandelt werden (100'000 m<sup>3</sup> Sedimenten mit geschätzten 15 m<sup>3</sup> Camionkapazität ergibt grob gerechnet immerhin 6'660 Camionfahrten, ohne jedoch den Wassergehalt der abgetragenen Feststoffe zu berücksichtigen).

In Anbetracht der eingetragenen Sedimente in den Speicher durch die Zuleitungen, ist es ebenfalls prüfenswert, ob nicht bei den Wasserfassungen in der Sitter und Urnäsch jeweils eine Entsanderanlage mit einer Zielvorgabe von 200-300 µm eingebaut werden sollte, diese würde den Sedimenteintrag reduzieren, zudem könnte das eingetragene Feimaterial eventuell direkt bis zu der Triebwasserleitung durchgeschleust und turbinert werden.

## Referenz

De Cesare G., Awad I. M., Schleiss A., und Zuglian R. (2006): Verlandungsmechanismen und Lösungsansätze zum Sedimenttransfer im Speicher Gübsensee (Schweiz), Proc. Symposium Graz 2006 "Stauhaltungen und Speicher - Von der Tradition zur Moderne", 27-30.09.2006, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz, ISBN 3-902465-50-6, 46/1, 210-221.

## Adresse der Autoren

dipl. Bauingenieur EPF Dr. Giovanni De Cesare  
École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)  
Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH)  
Station 18  
CH-1015 Lausanne  
E-Mail: giovanni.decesare@epfl.ch



dipl. Bauingenieur ETH Remo Baumann  
rebau engineering ag  
CH-7742 Poschiavo  
E-Mail: remo.baumann@rebauag.ch



Leiter Kraftwerke, Reto Zuglian  
St. Gallisch Appenzellische Kraftwerke AG  
Vadianstrasse 50  
CH-9001 St. Gallen  
E-Mail: reto.zuglian@sak.ch



dipl. Bauingenieur ETH Fernando M. Binder  
FMB Ingegneria SA, Ingegneri consulenti  
Via Pico 28  
CH-6900 Lugano  
E-Mail: fernando.binder@fmb-ingegneria.ch

